

Interdisziplinäre Produktentwicklung – Beschreibung einer Kooperation aus Industrie, angewandter Forschung und Technischem Design zur Realisierung einer assistierenden Roboterzelle

Christian Hermeling, Johannes Abicht, Thomas Theling, Ralf Hock

Kollaborative Robotik wird in der Regel als eine, den Anwender entlastende, Komponente in einem Mensch-Maschine-Szenario verstanden. Dabei wird in einer bisher nicht automatisierten Arbeitsumgebung eine Teilautomatisierung nachgerüstet. Für die Entwicklung derartiger Systeme ist neben dem Anwender und seinen Anforderungen auch eine hohe Passfähigkeit zu unterschiedlichen Bestandssystemen ausschlaggebend. Dieses Paper dokumentiert interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Industrie, angewandter Forschung und Technischem Design, um Kernanforderungen an Automatisierungslösungen für bestehende Werkzeugmaschinen zusammenzutragen. In einem industriellen Automatisierungsszenario entstand eine mobile Roboterzelle mit einem hängenden Roboter sowie einem Palettenspeicher zur Maschinenbeschickung. Vor- und Nachbearbeitungen sind in einheitlichen Fähigkeitsmodulen gekapselt. Maschine und Bauteile werden über ein intelligentes Bildverarbeitungssystem lokalisiert. Diese Referenzierung ermöglicht nach einmaligem Teachen das Nachführen der Roboterbewegungen bei einer Neukonfiguration. Ergänzt wird die Lösung durch ein schutzzaunloses Sicherheitskonzept und eine bedienerführende Benutzeroberfläche zur Fähigkeitskomposition. Mit der Automatisierungslösung können mittelständische Unternehmen bei Personalengpässen die Produktivität aufrechterhalten und Mitarbeiter von monotonen Tätigkeiten entlasten.

Keywords: Nutzerzentriertes Design, Mobile Roboterzelle, Fähigkeitsbasierte Steuerungen.

Motivation und Ausgangslage

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stehen vor der Herausforderung, sich – in einem globalen Wettbewerb – stetig wechselnden Kundenanforderungen anpassen zu müssen. Da eine Vollautomatisierung bei variantenreichen Produkten und geringen Losgrößen in diesem Bereich nicht wirtschaftlich ist, prägt der Mensch an der Maschine das Bild in den Produktionshallen des deutschen Mittelstands. Als zentrales

Bindeglied der Produktion bedient er Werkzeugmaschinen (WZM), richtet sie produktindividuell ein und führt Vor- und Nachbearbeitungen aus. Als Folge des Fachkräftemangels und in Kombination mit Urlaub oder Krankheit droht der zeitweise Stillstand einzelner Maschinen oder ganzer Produktionsabschnitte. An dieser Stelle greift das Konzept der flexiblen Automatisierungslösung, um einen Maschinenstillstand zu vermeiden und den Fachkräftemangel abzumildern.

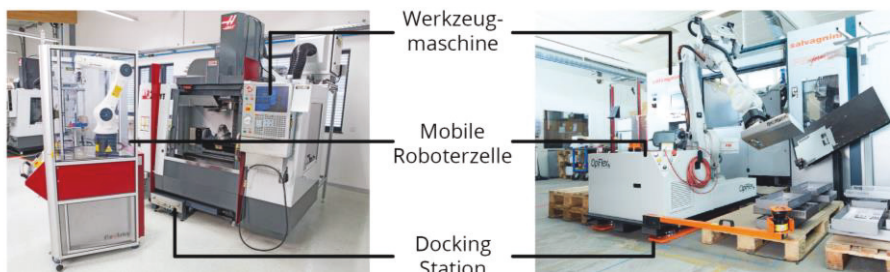
WHAT: Für eine effiziente Produktion benötigen KMU deshalb flexiblere Automatisierungslösungen für Bestandsmaschinen, die die Kontinuität der Produktion beim Ausfall einzelner Fachkräfte durch die Übernahme der Bedientätigkeiten an Werkzeugmaschinen gewährleisten. Für eine schnelle Einrichtung müssen sie sich dafür den Anforderungen an den Arbeitsprozess (z. B. Aufgabe, Bauteil und Kleinladungsträger) und dessen Umgebung (z. B. WZM, Aufstellfläche) selbstständig anpassen können und einfach bedienbar sein. Die vorliegende Arbeit spiegelt diese Anforderungen an Konzepte des Designs sowie der Hard- und Software-Entwicklung im Kontext einer mobilen Roboterzelle wieder. Hierdurch wird ein ganzheitliches Konzept zur Automatisierung monotoner Tätigkeiten an Werkzeugmaschinen durch Unterstützung mit einer flexiblen Roboterzelle erarbeitet.

HOW: Um die interdisziplinären Randbedingungen bei der Entwicklung der Roboterzelle zu berücksichtigen, wird methodisch auf einem nutzerzentrierten Designprozess aufgebaut. Die Anforderungen umfassen die Bereitstellung von zusätzlichen Bedienerfähigkeiten, die Passfähigkeit an variable WZM, Kompaktheit sowie Mobilität, Usability, Lernfähigkeit und Sicherheit. Zentrale Enabler bei der Umsetzung sind u. a. Fähigkeitsmodule und fähigkeitsbasierte Steuerungskonzepte, integrierte Kamerasysteme zur Lokalisierung und schnittstellenlosen Interaktion mit der WZM, ein nutzerzentriertes Produktdesign mit einem auf Mobilität, Kompaktheit und Ergonomie abgestimmten Package sowie ein schutzzaunloses Sicherheitskonzept. Abgerundet wird der nutzerzentrierte Designprozess durch eine bedienerführende grafische Benutzeroberfläche zur intuitiven Einrichtung und Algorithmen des maschinellen Lernens für Entstörstrategien in Fehlerfällen. Durch diesen interdisziplinären Entwicklungsansatz wird ein ganzheitlicher Produktmehrwert geschaffen.

Stand der Technik

Für die Automatisierung von WZM kommen derzeit mobile Roboterzellen zum Einsatz, die aus Inspektionskomponente, Ladungsträger, Arbeitsbereich und kollaborativer Robotik bestehen (Wojtynek, Steil & Wrede: 2019). Um im Produktionsumfeld ohne Auf-

wand integriert werden zu können, ist eine kompakte Bauart nötig. Die meisten Lösungen sind speziell für einfache Einzweckaufgaben, wie die WZM-Beschickung (Alender: 2020), entwickelt worden und nur schwer oder mit hohem Aufwand erweiterbar. Der Bediener verbindet die mobile Roboterzelle mit einer WZM und konfiguriert einen festgelegten Arbeitsablauf, der aus vordefinierten Greif- und Roboterbewegungen besteht. Zusätzliche Nebentätigkeiten wie das Entgraten oder Säubern von Bauteilen sind aufgrund der Bewegungskomplexität der Aufgabe nicht umgesetzt. Wie in Abbildung 1 dargestellt, verfügen herkömmliche Lösungen zur WZM-Anbindung über Docking Stations, um für die Automatisierung die relative Position zur WZM mechanisch zu fixieren und die Maschinenkommunikation über Feldbus-Anschlüsse aufzubauen. Durch diesen starren, systemabhängigen Aufbau sind herkömmliche, mobile Roboterzellen auf eine begrenzte Anzahl an WZM beschränkt. Diese wiederum benötigen für den Einsatz der traditionellen Automatisierungslösung teure Nachrüstungen (Falkowski: 2020). Um Roboterzellen flexibler im Produktionsumfeld einsetzen zu können, existieren auch schnittstellenlose Konzepte. Ohne eine vorgegebene geometrische Fixierung werden durch Kamerasysteme Positionsänderungen zur WZM erkannt und Bewegungen nachgeführt, wie von Guoguang (2019) ausführlich beschrieben. Eine vollständig autarke, kamerabasierte Anbindung existiert jedoch noch nicht. Für die Signalübertragung zur Zustandsübermittlung der WZM sind kabelbasierte (z.B. Feldbus) oder kabellose (z.B. Zigbee, Industrial W-LAN) Steuerungsschnittstellen notwendig. Um die Sicherheit schnittstellenloser Konzepte zu gewähren, werden schutzzaunlose Strategien eingesetzt. In Alender (2020) werden hierfür bspw. optoelektronische Systeme, wie Laserscanner, eingesetzt, die den Arbeitsraum der Roboterzelle scannen und diese bei Annäherung des Bedieners sicher anhalten. Im Gegensatz zu einer engen Mensch-Maschine-Kollaboration ist dadurch eine höhere Prozessgeschwindigkeit erlaubt, wodurch trotz der offenen Systeme eine hohe Produktivität möglich ist.



*Abbildung 1: Mobile Roboterzellen als Automatisierungslösung für die Maschinenbeschickung.
In Anlehnung an Alender (2020) und Schwarzbach (2016)*

Nach dem Aufbau der Roboterzelle an der zu automatisierenden WZM wird aus deren Basisfunktionen der Prozessablauf zusammengesetzt. Dies sind in der Regel Positionier- sowie Greifbefehle, die durch die Grundmodule Roboter, Greifer und Kleinladungsträger hardwareseitig abgebildet werden. Fähigkeitsbasierte Steuerungen ermöglichen, diese Basisfunktionen komplexer zu erweitern, indem zusätzliche Hardwaremodule (z. B. für ein Entgraten oder Abblasen) über Standardschnittstellen montiert und softwareseitig durch Modultemplates umgesetzt werden (Nøkleby: 2016). Durch die Standardisierungen können die erweiterten Fähigkeiten bei einer Produktionsanpassung dem Prozessablauf aufwandsarm hinzugefügt werden. Hierfür werden Bedienoberflächen mit einer starken Nutzerführung eingesetzt, um Fehlprogrammierungen zu verhindern. Nutzerzentrierte Designprozesse (engl. user centred design processes, UCD) sichern dabei durch ein iteratives Wechselspiel zwischen Anwender und Entwicklern (Stakeholder) die Nutzerbedürfnisse ab, um Systeme mit hoher Gebrauchstauglichkeit (engl. Usability) und Akzeptanz zu gestalten (Robelski: 2016).

Kernanforderungen

Aus der Systemanalyse und den Nutzeranforderungen werden die in Abbildung 2 dargestellten Kernanforderungen an die Automatisierungslösungen definiert.

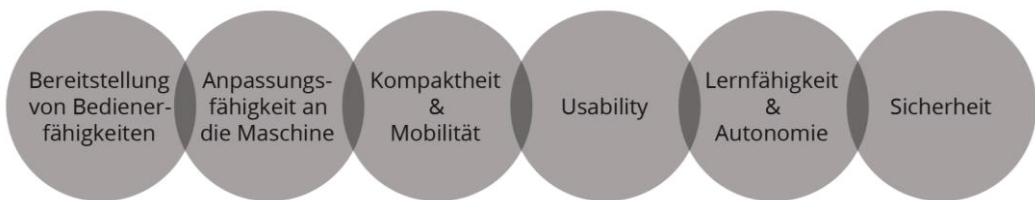


Abbildung 2: Kernanforderungen an Automatisierungslösungen. Angelehnt an Lienenlücke, Gründel & Storms (2018)

Das wesentliche Ziel bei der Verwendung des hier beschriebenen Systems ist es, die Produktion auch bei kurzfristigem Fachkräftemangel auf einem effizienten, wirtschaftlich sinnvollen Niveau fortzusetzen. Die zentrale Anforderung an eine nachrüstbare Automationslösung besteht darin, dass es die Bedienertätigkeit in einem ausreichenden Umfang ersetzt, um den Betrieb der jeweiligen WZM über einen vorbestimmten Zeitraum eigenständig aufrechtzuerhalten.

Eine Voraussetzung für ein KMU-taugliches Produkt ist, dass die Automatisierungslösung mit unterschiedlichen Maschinentypen kompatibel ist und eine große Bandbreite

an – teilweise stark unterschiedlichen – Fertigungsprozessen durchführen kann. Dazu ist zunächst eine grundsätzliche physische Passfähigkeit gefragt, die die allgemein engen Platzverhältnisse in Produktionshallen genauso berücksichtigt – wie die unterschiedlichen Geometrien, Eingabehöhen oder Türbreiten der jeweiligen WZM. Da der Roboterzelle keine spezifische Schnittstelle zu den Maschinen zur Verfügung steht, ist außerdem die Kompatibilität zu den an der WZM vorhandenen unterschiedlichen Nutzerschnittstellen von zentraler Bedeutung. Eine besondere Herausforderung kann bspw. eine variierende Anordnung der Bedienelemente und des Bedienpanels (z. B. rechts oder links der Tür) sein. Hinzu kommen viele Unwägbarkeiten, die ein menschlicher Bediener problemlos erkennt und auf die er intuitiv reagiert, die aber für ein automatisiertes System ggf. sehr schwer erfass- und vor allem lösbar sind (z. B. ein Rückschwenken des Bedienpanels, Verschmutzung des Displays, Verschleiß der Bedienelemente).

Ein weiterer Aspekt ist der Aufwand, dessen es bedarf, um die Roboterzelle in Bezug auf WZM und Fertigungsjob einzurichten. Dieser muss in einem wirtschaftlichen Verhältnis zur angestrebten Einsatzzeit stehen. Das Einrichten muss zudem von einem regulären Bediener durchführbar sein und darf nicht von spezialisiertem Personal abhängen. Der wechselnde Einsatz der Roboterzelle an unterschiedlichen Maschinen macht eine Transportmöglichkeit mit in Produktionshallen gängigen Transportmitteln (z. B. Hubwagen, Stapler) erforderlich. Eine grundsätzliche Anforderung an kollaborative Robotiksysteme ist ein abgestimmtes Sicherheitskonzept, sodass diese keine Unfallgefahr für den menschlichen Bediener darstellen.

Ziele und Vision

Auf methodischer Ebene wird mittels eines nutzerzentrierten Ansatzes der Mensch von Beginn an in den Fokus der Anwendung gestellt. Dies reicht von den physischen Anforderungen an die Ergonomie bei Transport und Positionierung bis hin zu steuerungstechnischen sowie softwarebasierten Rahmenbedingungen für einen einfach, schnell und sicher durchzuführenden Inbetriebnahmeprozess der Roboterzelle. Um die Nutzerzentrierung zu gewährleisten, wurden Interviews und Workshops durchgeführt. Aus deren qualitativer Auswertung ergaben sich die technischen Anforderungen für das System. Parallel dazu wurden bereits früh im Entwicklungsprozess Package-Modelle im CAD erstellt, um mit digitalen Menschmodellen und Nutzungsszenarien die Ergonomie durch iterative Prozesse für den Bediener zu überprüfen. Die Meinungen weiterer Stakeholder wurden methodisch mittels Präsentationen und im Rahmen

von Workshops umfassend einbezogen und die Anforderungen an das System präzisiert. Über den gesamten Prozess hinweg wurde auf eine starke visuelle Kommunikation mittels Sketches, CAD-Packages wie auch Renderings gesetzt.

Um die Kernanforderungen vollständig realisieren zu können, stellt die Entwicklungsvision eine mit verschiedensten CNC-Werkzeugmaschinen und Montage-Anlagen kombinierbare Automatisierungslösung dar: den Robo Operator. Dieser kommt ohne mechanische und elektrische bzw. datentechnische Verbindung aus. Mobil und flexibel emuliert er den Bediener: Er platziert Bauteile und übernimmt deren Vor- und Nachbereitung, betätigt die identischen Knöpfe an der Maschinenbedieneinheit und führt dieselben Handgriffe aus – genau so, wie es der menschliche Anwender auch tun würde (Abbildung 3).

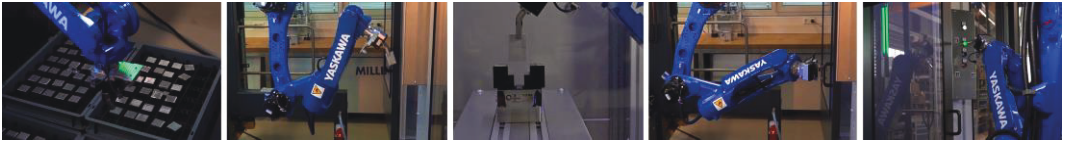


Abbildung 3: Werkstück erkennen – WS einsetzen – Tür schließen – Programm starten.

Anders als bei üblichen Robotern werden die Bewegungsvorgänge nicht geteacht, sondern es wird auf eine Bibliothek angelernter Fähigkeiten zurückgegriffen. Mittels dieser wird der Robo Operator vor Ort nur noch an die spezielle Maschine und Aufgabe adaptiert – vergleichbar mit einem Bediener, der erstmalig an einer ihm bisher fremden Maschine eingearbeitet wird oder die Fertigung eines neuen Bauteils erlernt. Eine Komposition von Bedienerfähigkeiten, die der Operator sowohl selbst bereits erlernt als auch von Geschwistern mittels Cloud-Verbindung übermittelt bekommen hat, ergibt schließlich einen individuellen emulierten Workflow. Einmal angelegt, steht diese Konfiguration dank des Datenaustausches zukünftig der Robo Operator-Familie als Standard-Konfiguration in der Bibliothek angelernter Fähigkeiten zur Verfügung. Gleichzeitig lernt die Roboterzelle den Umgang mit unvorhergesehenen Ereignissen bei auftretenden Fehlern und geeigneten Lösungsstrategien durch den Bediener. Diese Vorgehensweisen werden ebenso als Erkenntnisse in der Cloudlösung abgelegt, um einen übertragbaren, fehlerfreien, autonomen Fertigungsprozess zu generieren.

Um die dafür notwendige Flexibilität und Adaptivität zu gewährleisten, setzt die Vision der Roboterzelle auf ein Design, welches ein kollaboratives Arbeiten von Mensch und Maschine im Sinne einer Ergänzung fokussiert. Die Tätigkeit des Bedieners verschiebt sich punktuell in Richtung des Einrichtens von Roboter-Arbeitsvorgängen anstelle einer eigenständigen Durchführung. Bei kurzfristigem Auftragsanstieg, temporärem

Mangel an Mitarbeitern durch Krankheit, Urlaub oder Elternzeit, am Wochenende oder in der dritten Schicht: Nach einem kurzen Einrichtungsaufwand kann die Roboterzelle den Ausfall kompensieren, selbstständig arbeiten und die Produktivität der Fertigung konstant halten. Durch die Möglichkeit, mit der Roboterzelle auch längere, monotone Arbeiten abbilden zu können, wächst gleichzeitig das Angebotsportfolio von KMU in Richtung einer Teilefertigung auch in größeren Stückzahlen. Dem Bediener wird dabei monotone Tätigkeit abgenommen und er kann Aufgaben der Überwachung, der Wartung sowie der Planung und Vorbereitung nächster Bauteilchargen übernehmen.

Umsetzung der adressierten Methoden

Die genannten Anforderungen stehen zum Teil konträr zueinander, sodass für ein ausgewogenes Hardware-Konzept ein sinnvoller Kompromiss gefunden werden muss. Um die Roboterzelle in engen Produktionshallen transportierbar und korrekt positionierbar zu machen, ist eine geringe Stellfläche und kompakte Bauweise Grundbedingung. Diese limitieren aber u. a. den Bewegungsraum des Roboterarms und machen die Roboterzelle damit weniger passfähig für Einsätze, bei denen der Roboter tief in den Bearbeitungsraum einer WZM greifen muss. Aus der Konzeptphase heraus wurde das Ziel einer äußerst kompakten Bauform mit einer maximalen Stellfläche von $800 \times 1200 \text{ mm}^2$ (Palettenmaß) abgeleitet. Im Rahmen der Package-Entwicklung im CAD stellte sich jedoch heraus, dass der daraus resultierende Bauraum für die Komponenten und insbesondere für den Bewegungsraum des Roboterarms nicht ausreicht. Die Grundmaße wurden daher schrittweise auf $1200 \times 1800 \times 2300 \text{ mm}^3$ erhöht. Diese bieten zudem Vorteile: u. a. ist die Beladung des Werkstückmagazins mit einer Standard-Palette möglich. Gleichzeitig werden die Forderungen nach einem kompakten und transportablen Format weiterhin erfüllt.

Von zentraler Bedeutung für die Konstruktion ist die Positionierung des Roboterarms. Dieser benötigt einen ausreichenden Bewegungsraum, um sowohl das Werkstückmagazin der Roboterzelle als auch den Bearbeitungsraum und das Bedienpanel der WZM zu erreichen. Hierzu wurden in den Package-Modellen die statischen (Zellengestell, Umhausungen) und dynamischen Störkonturen (Ladungsträger, WZM, WZM-Bedienfeld) in unterschiedlichen Roboterpositionen miteinander verglichen (Abbildung 4). Während zunächst eine stehende Roboterposition in Betracht gezogen wurde, erwies sich nach digitalen Tests eine hängende Position als vorteilhaft. Durch die Verschiebung der Roboterbasis konnte das Verhältnis aus Aufstellraum und Arbeitsbereich für die Ladungsträgerbeschickung wesentlich erhöht werden.

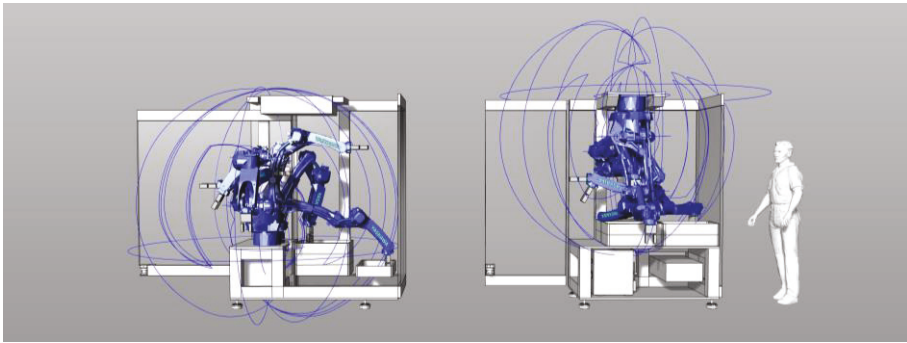


Abbildung 4: Variantenbetrachtung der Roboterpositionierung

Die Roboterzelle kann nach einem einmaligen Anlernprozess den Bediener emulieren, ohne eine spezifische zusätzliche Schnittstelle zur WZM zu benötigen. Durch eine Smart Camera (Intel Realsense D435i) wird das Gesamtsystem aus WZM mit Spannmittel, Werkstücken und Fähigkeitsmodulen referenziert, um die angelernten Bewegungen automatisch anzupassen (Abbildung 5). Die WZM-Referenzierung erfolgt über eine Lokalisierung der an der WZM angebrachten ArUco-Marken, die dadurch ein maschinenabhängiges Koordinatensystem definieren. Alle Roboterbewegungen sind relativ zu diesem Koordinatensystem definiert. Eine Lokalisierung der Marker führt damit zur Nachführung der darin geteachten Roboterbahnpunkte. Das Vorgehen wird so auf die weiteren Module übertragen. Da der Zustand der Werkstücke bei der Lokalisierung nicht verändert werden darf, kommt hier ein flexiblerer Shape Matching Algorithmus zum Einsatz. Über vorgegebene Geometrietemplates wird das zu identifizierende Bauteil im Live-Bild erkannt und lokalisiert.

Für den Signalaustausch zwischen WZM und Roboterzelle (z. B. für den Start eines neuen Einlegezyklus) nutzt die Roboterzelle ausschließlich die bereits vorhandenen Bedienelemente der WZM. Durch Betätigungswerkzeuge werden die Maschinentür geöffnet und geschlossen und das NC-Programm gestartet. Dies ist vergleichbar mit einer manuellen Bedienung durch den Bediener. Die Zustandserkennung der WZM, z.B. nach fertiger Bauteilbearbeitung, wird durch das Kamerasystem mithilfe einer Auswertung der HMI-Lichtsignale (Farbe der Signalsäule, Text des Bedienfelds) durchgeführt. Als technisches Novum verhindert das entstehende, rein kamerabasierte Referenzierungs- und Interaktionskonzept zusätzliche Retrofittings.

Um die Bedienerfähigkeiten und -tätigkeiten im Umfeld der WZM vollständig abzudecken, wird ein Konzept aus hardware- und softwareseitigen Fähigkeitsmodulen und

einem flexiblen Speichersystem eingesetzt. Der Speicherbereich besteht aus Kleinladungsträgern, die bei Bedarf an verschiedene Fertigungsaufträge über eine Änderung der Rasteranordnung individuell angepasst werden. Für die Entnahme und Ablage von Bauteilen wird die Rasterung im Einrichtprozess vorgegeben und werden die Bauteile am Rasterplatz mithilfe der Kamera lokalisiert. Auf Basis einer fähigkeitsbasierten Steuerung sind die Fähigkeitsmodule „Entgraten“, „Ablasen“ und „Optische Vermessung“ in den Zellenablauf integrierbar (Abbildung 6).

Entgegen konventioneller Automatisierungslösungen, die für jede Rekonfiguration nachgeteacht werden, wird an der Roboterzelle ein zweistufiges Einrichtkonzept auf Basis eines Kamerasystems am Roboterarm eingesetzt. Bei relativen Verschiebungen wird die WZM durch das Kamerasystem markerbasiert lokalisiert und es werden so die entsprechenden Roboterbewegungen nachgeführt (z.B. Tür öffnen, Bauteil einlegen). Für die Lokalisierung reicht eine Grobpositionierung aus, bspw. mit Hilfe von Bodenmarkierungen, um die WZM in das Blickfeld der Kamera zu führen. Durch das Zusammenspiel aus vorparametrierten Roboterbewegungen und der Positionsnachführung durch die Kamera entfällt ein Nachteachen durch den Bediener. Neben einer Verkürzung der Einrichtzeit werden damit kostenintensive Roboterschulungen des Kunden gespart. Die Vorgehensweise wird auch auf weitere Aufgaben der Zelle übertragen, wie das Erkennen von Bauteilpositionen oder des Spannmittels. Die nachfolgende Tabelle fasst die Aufgaben der Einrichter (einmalig) und Bediener (für jeden Betrieb) bei der Inbetriebnahme an einer neuen WZM zusammen.

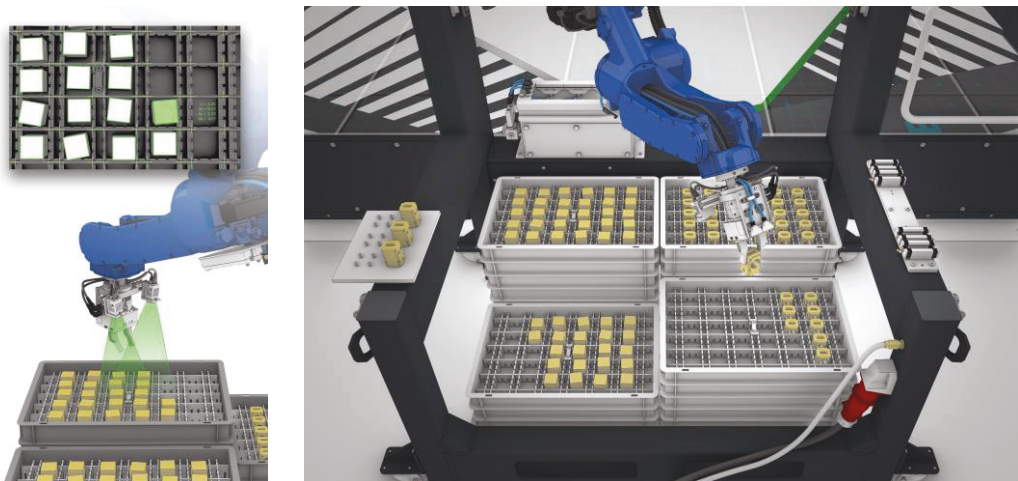


Abbildung 5: Kamerabasierte Lokalisierung (li.) und Bewegungsadaption (re.)

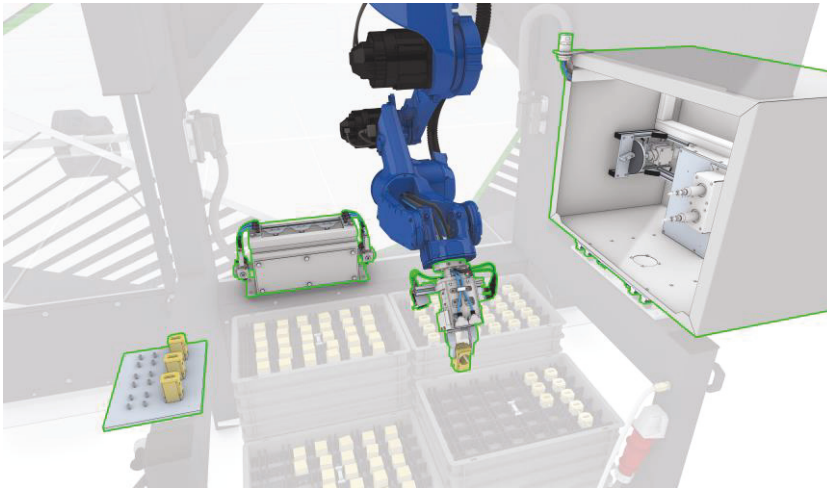


Abbildung 6: Ausstattung der Roboterzelle mit Fähigkeitsmodulen

Tabelle 1: Inbetriebnahmeaufgaben aufgeteilt nach Einrichter und Bediener

	Einrichter (Roboterzellenentwickler)	Bediener
Werkzeugmaschine (WZM) und Maschinenbedienfeld (MBF)	<ul style="list-style-type: none"> . Befestigt Marken an der WZM . Teacht globale Detektionspunkte . Teacht Grundbewegungen relativ zu Marken 	<ul style="list-style-type: none"> . Führt Referenzierungsjobs zur WZM- und MBF-Lokalisierung aus
Spannmittel	<ul style="list-style-type: none"> . Befestigt Marken am Spannmittel . Teacht globale Detektionspunkte . Teacht Grundbewegungen relativ zu Marken 	<ul style="list-style-type: none"> . Führt Referenzierungsjobs zur Spannmittellokalisierung aus
Kleinladungsträger (KLT)	<ul style="list-style-type: none"> . Teacht Grundbewegungen zum Anfahren von Detektions- und Ablagepunkten der Bauteile relativ zum KLT 	<ul style="list-style-type: none"> . Führt Referenzierungsjobs für KLT-Lokalisierung aus . Erstellt Bauteiltemplate
Bauteil	<ul style="list-style-type: none"> . Teacht Greifpunkte relativ zum Bauteil 	<ul style="list-style-type: none"> . Führt Bauteillokalisierungs- und -greifjobs aus

Das Sicherheitskonzept der Roboterzelle beinhaltet keinen Schutzzaun. Stattdessen werden seitliche Schutztüren aufgeklappt und so eine laserüberwachte Sicherheitszone errichtet. Hierzu wurden erneut in CAD-Modellen verschiedene Varianten (Türgeometrie und Laserposition) erzeugt und in Bezug auf einen bestmöglichen Eingriffschutz optimiert (Abbildung 7).

Um auf engem Raum manövrierbar zu sein – vor allem bei der Positionierung an der WZM – wurde die Roboterzelle mit fixierbaren Rollen ausgestattet. Bei längeren Wegen

kann sie mit Hilfsmitteln wie Hubwagen oder Gabelstapler transportiert werden. Höhe und Gewicht der Zelle erlauben weiterhin einen Transport im geschlossenen LKW.

Im Design der Roboterzelle sind verschiedene Nutzeranforderungen besonders berücksichtigt. Rollen und großzügige Griffe realisieren das Manövrieren ohne Transportmittel im Nahbereich der WZM. Die Ausrichtung vor der Maschine muss dabei keine besondere Genauigkeit erreichen. Ein HMI führt den Bediener Schritt für Schritt durch die Inbetriebnahme. Diese ist nach einem einmaligen Anlernvorgang von einem regulären Bediener ohne besondere Roboter-Einrichtkenntnisse wiederkehrend durchführbar. Werkstücke können auf einer Palette von beiden Seiten eingeladen werden, womit die notwendige Flexibilität bei oft engen Platzverhältnissen in Produktionshallen gegeben ist. Während des Betriebs kann die Roboterzelle durch große Fensterflächen eingesehen werden. Eine solide Blechrahmenkonstruktion und ausreichend Stoßschutz sorgen dennoch für eine robuste Bauweise und gewährleisten einen angemessenen Schutz vor Transportschäden. Die äußere Gestaltung der Roboterzelle ist für einen Messeauftritt bewusst auffällig gewählt und greift das Corporate Design des Herstellers auf. Umgesetzt ist der Designentwurf durch eine Folierung, sodass Alternativdesigns für etwaige Verleihversionen oder Kundenanforderungen möglich sind.

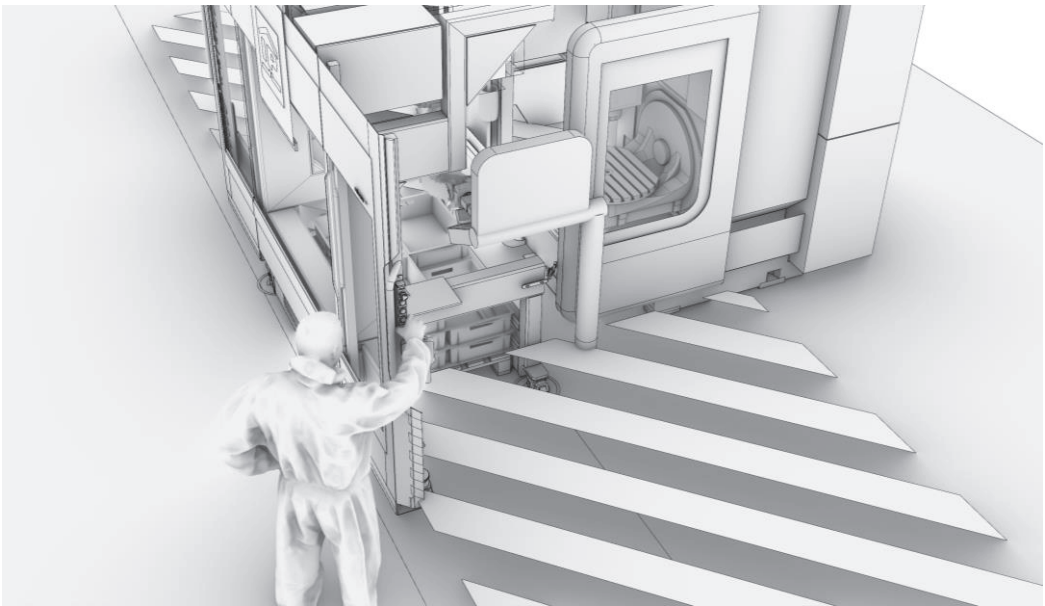


Abbildung 7: Schutzzaunloses Sicherheitskonzept mittels Laserscanner

Ausblick und Fazit

Flexible Kapazitätsanpassung, Nutzungsgrad-Erhöhung jeder Werkzeugmaschine und den Menschen ergänzende Automation schaffen zusammen mit einem abgestimmten, technischen Design maximale Funktionsintegration, hohe Bediensicherheit und eine wirtschaftlich geeignete Lösung für KMU.

Um den Einrichtprozess zu optimieren, wird in einer weiteren Iterationsschleife das User-Interface überarbeitet, wodurch der Bediener schneller sowie sicherer zur Aufnahme des Arbeitsprozesses gelangt. Dazu wird aktuell nicht nur die grafische Bedien-schnittstelle, sondern auch die bisherige Menü-Struktur angepasst. Mit dem Ergebnis wird der Bediener leicht verständlich und vollständig durch die Einrichtung der Maschine geführt.

Um den Use-Case einer schnell zur Verfügung stehenden Automationslösung auch über einzelne Fertigungsstätten und Betriebe hinaus ganzheitlich anbieten zu können, werden unterschiedliche Einsatzszenarien und deren Auswirkung auf die Anforderungen an das Gesamtkonzept geprüft. Zentraler Aspekt ist in diesem Zusammenhang der Aufbau eines Sharing- und Rental-Angebots. Für einen autonomen Betrieb wird das Einbinden von selbstständigen Entstörstrategien im Fehlerfall mittels ML in einem Folgeprojekt behandelt.

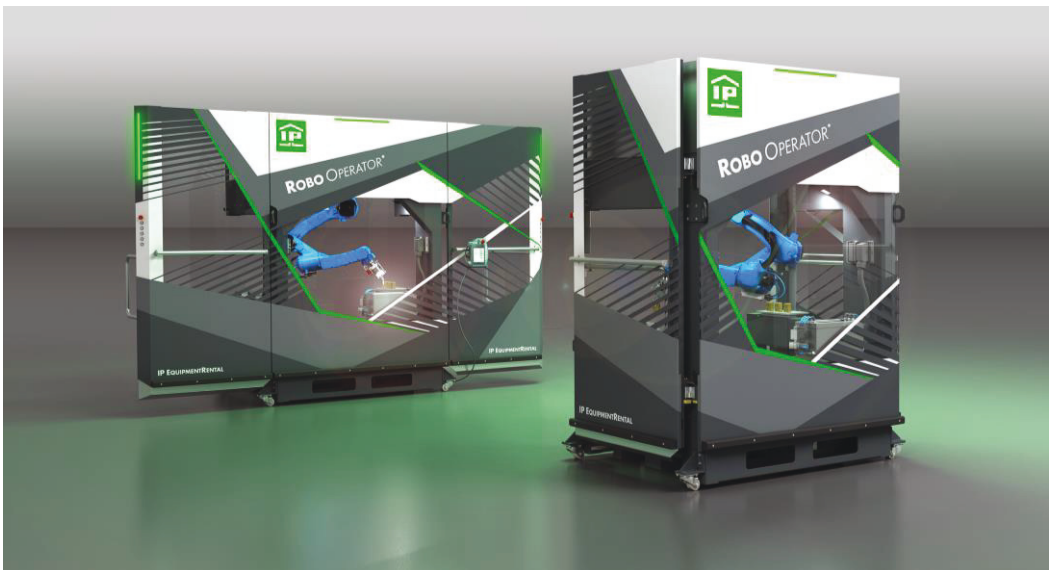


Abbildung 8: Robo Operator

Der Robo Operator (Abbildung 8) realisiert bereits heute die Emulation des menschlichen Bedieners und gibt einen Ausblick auf eine zeitnah verfügbare und speziell für KMU konzipierte Automationslösung, mit der die Produktivität konstant gehalten und die Flexibilität bei der Annahme von Aufträgen erhöht werden kann. Gerade für kleine Teilefertiger ergeben sich daraus neue Möglichkeiten, auch bei Aufträgen mit größerem Stückzahlvolumen wirtschaftlich zu produzieren.

Die Schnelligkeit sowie Einfachheit der Einrichtung und Bedienung dank des fähigkeitsbasierten Konzeptes liefert einen sofortigen Mehrwert für jede Fertigung. Der Robo Operator realisiert in flexibel transportabler Größe alle wesentlichen Anforderungen an die Sicherheit der Bediener sowie der Passfähigkeit an jede Werkzeugmaschine.

Literaturverzeichnis

Alender, M. (2020): Working together as equals: Sensor solutions for robotics. Abgerufen am 10.07.2020 von <https://www.sick.com/ag/en/sensor-solutions-for-robotics/w/robotics/>

Guoguang, D., Wang, K. & Lian, S. (2019): Vision-based Robotic Grasping from Object Localization, Pose Estimation, Grasp Detection to Motion Planning: A Review, 24 pp.

Falkowski, P., Smater, M., Koper, J., Mysliwiec, A., Mackiewicz, T. (2020): An Approach Towards High-Precision Docking of the Mobile Robots for Industrial Purposes, in: Automation 2020: Towards Industry of the Future, vol. 1140. Springer International Publishing, pp. 239–247.

Lienenlücke, L., Gründel, L., & Storms, S. (2018): Temporal and Flexible Automation of Machine Tools. 22nd IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems.

Nøkleby, C. (2016): PackML Unit/Machine Implementation Guide. The Organization for Machine Automation and Control

Schwarzbach, L. (2016): Flexible Roboterzelle optimiert CNC-Fräsprozess. Abgerufen am 02.07.2020 von <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/flexible-roboterzelle-optimiert-cnc-fraesprozess-a-531683/>

Wojtynek, M., Steil, J., & Wrede, S. (2019): Plug, Plan and Produce as Enabler for Easy Workcell Setup and Collaborative Robot Programming in Smart Factories. Künstl Intell, S. 151–161.

Kontakt

Dipl.-Ing. Christian Hermeling
Dipl.-Ing. Johannes Abicht
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU)
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz
www.iwu.fraunhofer.de

Thomas Theling, M. A.
Technische Universität Dresden
Professur für Technisches Design
01062 Dresden
www.tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Ralf Hock
Industrie-Partner GmbH
An der Walze 11
01640 Coswig
www.ip-coswig.de